

## KOREAN PATENT ABSTRACT (KR)

### PUBLICATION

(51) IPC Code: H01L 21/02

(11) Publication No.: P2001-0051755

(43) Publication Date: 25 June 2001

(21) Application No.: 10-2000-0068318

(22) Application Date: 17 November 2000

(71) Applicant:

Tokyo Electron Limited

6-go, 3-ban, 5-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo-do, Japan

(72) Inventor:

OKURA JUN

HARADA KOJI

(54) Title of the Invention:

Substrate heating apparatus, substrate cooling apparatus, and substrate cooling method

Abstract:

Provided is an apparatus of cooling a substrate including a cooling plate on which a substrate is loaded, a cooling temperature regulator that controls the temperature of the cooling plate to a predetermined temperature, a temperature controlling unit that controls the temperature of the cooling temperature regulator based on a transmission function, a temperature sensor attached to the cooling plate, and a control parameter altering unit for altering at least one of a proportion operating coefficient, an integral time, and a differential time among control parameters of the transmission function based on the temperature of the cooling plate that is detected by the temperature sensor after a substrate to be cooled is loaded on the cooling plate. Irrespective of the temperature of the substrate sensed when the substrate is loaded on the cooling plate, transient response is improved, recovery time is shortened, and offset is suppressed. Thus, precise temperature control is enabled.

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup> H01L 21/02	(11) 공개번호 특2001-0051755
	(43) 공개일자 2001년06월25일
(21) 출원번호 10-2000-0068318	
(22) 출원일자 2000년11월17일	
(30) 우선권주장 328795 1999년11월18일 일본(JP)	
(71) 출원인 동경 엘렉트론 주식회사 히가시 데쓰로	
(72) 발명자 오쿠라준	
	일본국도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 6고
	일본국구마모토켄기쿠치군기쿠요마치쓰쿠레2655반치동경엘렉트론큐슈주식회사내
	하라다고지
	일본국구마모토켄기쿠치군기쿠요마치쓰쿠레2655반치동경엘렉트론큐슈주식회사내
(74) 대리인 강일우, 최정연, 홍기천	

심사청구 : 없음

(54) 가열처리장치, 냉각처리장치 및 냉각처리방법

요약

기판을 냉각처리하는 장치에 있어서, 기판이 놓여지는 냉각판과, 상기 냉각판을 소정의 온도로 조정하는 냉각온도조정체와, 상기 냉각온도조정체의 온도를 전달항수에 따라서 제어하는 온도제어수단과, 상기 냉각판에 부착된 온도센서와, 냉각대상이 되는 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓은 후의 상기 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 상기 전달항수의 제어파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하는 제어파라미터 변경수단을 구비하고 있다. 냉각판에 놓여질 때의 기판온도의 여하에 상관없이, 과도특성이 개선되고, 소정의 온도까지 냉각할 때의 리커버리 타임을 단축할 수 있으며, 또한 정상편차[오프셋(offset)] 등이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

대표도

도4

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은, 본 발명의 실시형태에 따른 베이킹장치 및 쿨링장치를 구비한 도포현상처리장치의 평면도이다.
- 도 2는, 도 1의 도포현상처리장치의 정면도이다.
- 도 3은, 도 1의 도포현상처리장치의 배면도이다.
- 도 4는, 본 발명의 실시형태에 따른 베이킹장치의 내부구조의 단면도이다.
- 도 5는, 도 4의 베이킹장치의 제어계를 나타내는 블록선도이다.
- 도 6은, 본 발명의 실시형태에 따른 쿨링장치의 내부구조의 단면도이다.
- 도 7은, 도 6의 쿨링장치의 제어계를 나타내는 블록선도이다.
- 도 8은, 가열판의 온도특성을 나타내는 그래프이다.
- 도 9는, 냉각판의 온도특성을 나타내는 그래프선의 주요부를 확대하여 나타내는 그래프이다.
- 도 10은, 냉각판의 온도특성을 나타내는 그래프이다.
- 도 11은, 본 발명의 가열처리의 실시예에 있어서, 리커버리 타임의 특성을 나타내는 표이다.
- 도 12는, 도 11의 표에 기초하여 작성한 리커버리 타임의 특성을 나타내는 그래프이다.
- 도 13은, 본 발명의 가열처리의 실시예에 있어서, 오버 슈트량의 특성을 나타내는 표이다.
- 도 14는, 도 13의 표에 기초하여 작성한 오버슈트량의 특성을 나타내는 그래프이다.
- 도 15는, 본 발명의 가열처리의 실시예에 있어서, 웨이퍼의 불균일 3 $\sigma$ 의 특성을 나타내는 표이다.

도 16은, 도 15의 표에 기초하여 작성한 웨이퍼의 불균일  $3\sigma$ 의 특성을 나타내는 그래프이다.  
 도 17은, 본 발명의 가열처리의 실시예에 있어서, 가열판의 \*\*불균일  $3\sigma$ 을 나타내는 표이다.  
 도 18은, 도 17의 표에 기초하여 작성한 가열판의 불균일  $3\sigma$ 의 특성을 나타내는 그래프이다.  
 도 19는, 본 발명의 냉각처리의 제 1 실시예에 있어서, 리커버리 타임의 특성을 나타내는 표이다.  
 도 20은, 본 발명의 냉각처리의 제 2 실시예에 있어서, 리커버리 타임의 특성을 나타내는 표이다.  
 도 21은, 웨이퍼 초기온도에 대한 피크온도 및 도달시간과의 관계를 나타내는 표이다.  
 도 22는, 종래의 가열판의 온도특성을 나타내는 그래프이다.  
 도 23은, 종래의 냉각판의 온도특성을 나타내는 그래프이다.

〈도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명〉

1 : 도포현상처리장치	2 : 카세트스테이션
3 : 처리스테이션	4 : 인터페이스부
5 : 카세트 재치대	7, 50 : 웨이퍼 반송체
8 : 반송로	13 : 주반송장치
15, 17 : 레지스트도포장치	16, 18 : 현상처리장치
30, 40, 43 : 쿨링장치	31 : 어드히전장치
32 : 얼라인먼트장치	33, 42 : 익스텐션장치
41 : 익스텐션·쿨링장치	
34, 35, 36, 37, 44, 45, 46, 47 : 베이킹장치	
51 : 주변노광장치	60 : 가열판
61 : 히터	62, 103 : 온도제어수단
63, 105 : PID제어파라미터 변경수단	
64, 104 : 온도센서	65, 102 : 전원제어부
66, 83 : 입력라인	67, 79 : 가산점
68 : 피드백라인	69 : 분기점
70, 71, 72, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 110 : 라인	
75, 106 : 비례요소 연산자	76, 107 : 적분요소 연산자
77, 108 : 미분요소 연산자	78, 109 : 연산자
90 : 승강팬	91 : 관통구멍
92 : 프록시미티핀	100 : 냉각판
101 : 펠티에소자	111 : 유로
C : 카세트스테이션	G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , G <sub>3</sub> , G <sub>4</sub> , G <sub>5</sub> : 처리장치군
W : 웨이퍼	

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은, 예를 들면 LCD 기판이나 반도체 웨이퍼 등과 같은 기판을 가열 또는 냉각하는 열처리방법 및 열처리장치에 관한 것이다.

반도체 디바이스의 제조공정에 있어서, 예를 들면 반도체웨이퍼(이하, 「웨이퍼」라고 함) 등의 기판의 표면에 대하여, 포토리소그래피공정이 행하여지고 있다. 이 포토리소그래피공정은, 웨이퍼의 표면에 레지스트액을 도포한 후에 소정의 패턴을 노광하고, 그 후에 현상처리하는 일련의 처리가 실시된다.

이러한 도포현상처리에 있어서, 이상과 같은 레지스트도포처리, 노광처리, 현상처리후에는, 필요에 따라 웨이퍼의 가열처리가 행하여지고, 그 후에, 고온상태가 된 웨이퍼를 어느 정도 냉각하기 위해서 냉각처리가 계속해서 행하여진다.

가열처리가 행하여지는 가열처리장치는, 히터가 내장된 가열판을 가지고 있다. 그리고, 웨이퍼는, 가열판에 놓여져, 가열판으로부터의 열에 의해 가열처리된다. 이 가열판에는, 온도센서가 부착되어 있어, 가열판의 온도를 모니터링할 수 있도록 되어 있다. 온도센서로부터의 신호는 제어장치에 입력되고, 이

제어장치는, 센서로부터 송신되어 오는 센서신호를 기초로, 히터의 온도를 제어하도록 되어 있다.

냉각처리가 행하여지는 냉각처리장치는, 펠티에(Peltier)소자가 내장된 냉각판을 가지고 있다. 가열처리후의 고온의 웨이퍼는, 냉각판에 놓여지고, 냉각판의 냉열에 의해서 냉각처리된다. 이 냉각판에도 온도센서가 부착되어 있어, 상기 가열판과 마찬가지로, 온도센서로부터의 신호에 기초하여 제어장치가 펠티에소자의 온도를 제어하도록 되어 있다.

여기서, 웨이퍼를 소정의 온도로 가열처리할 때의 가열판의 온도의 상태를, 도 22에 나타낸다. 도 22의 그래프에 있어서, 가로축은 가열시간[s(초)], 세로축은 가열판의 온도[℃]이다. 도 22중의 그래프선 k로 나타낸 바와 같이, 웨이퍼가 가열판에 놓여지면, 이 웨이퍼에 의해 가열판으로부터 열량을 빼앗아 온도가 저하한다(도 22중의 시간  $t_1 \sim t_2$ ). 온도센서에 의해 온도저하를 인식한 제어장치는, 히터에 대한 전력량을 증가시켜 가열처리를 시작한다. 이 때, 히터에 의한 가열이 급격히 행하여지기 때문에, 가열판의 온도가 오버슈트해 버린다(도 22중의 시간  $t_2 \sim t_3$ ). 그 후, 온도센서로 오버슈트를 인식한 제어장치는, 히터에 대한 전력량을 감소시켜 가열판의 온도를 저하시킨다(도 22중의 시간  $t_3 \sim t_4$ ). 이상과 같은 과정을 거쳐 가열판의 온도가 안정적이 된다. 또, 제어장치에는, 비례요소, 적분요소나 미분요소가 가미된 PID제어가 채용되어, 편차를 극력 감소시켜 과도특성을 개선할 수 있도록 되어 있다.

다음에, 가열처리된 웨이퍼를 예를 들어 23℃까지 냉각처리할 때의 냉각판의 온도변화의 상태를 도 23에 나타낸다. 이 도 23의 그래프에 있어서, 가로축은 냉각시간[s], 세로축은 냉각판의 온도[℃]이다. 도 23중의 그래프선 l로 나타낸 바와 같이, 냉각판의 온도는, 웨이퍼를 얹어 놓기 전에는 23℃로 대기하고 있다. 그리고, 고온의 웨이퍼가 냉각판에 놓여지면, 이 웨이퍼로부터 냉각판쪽에 열량이 주어져 냉각판의 온도가 상승한다(도 23중의 시간  $t_1 \sim t_2$ ). 그 후, 온도센서에 의해 온도상승을 인식한 제어장치가 펠티에소자에 대한 전력량을 증가시켜 냉각처리를 시작한다. 이 때, 펠티에소자에 의한 냉각이 급격히 행하여지기 때문에, 냉각판의 온도는, 23℃보다도 언더슈트해 버린다(도 23중의 시간  $t_2 \sim t_3$ ). 그 후, 온도센서로 언더슈트를 인식한 제어장치는, 펠티에소자에 공급하는 전력량을 감소시켜 냉각판의 온도를 상승시킨다(도 23중의 시간  $t_3 \sim t_4$ ). 이상과 같은 과정을 거쳐 냉각판의 온도를 23℃까지 안정시킨다. 이 경우에도, 제어장치에는 PID 제어가 채용되어, 과도특성을 개선할 수 있도록 되어 있다.

그런데, 레지스트도포처리후에, 레지스트중의 레지스트용제의 가열제거를 목적으로 한, 소위 프리베이킹(PREBAKE)에서는, 예를 들면 23℃(상온)의 웨이퍼를 200℃로 가열처리하고, 노광처리후에 행하여지는 포스트·엑스포저·베이킹(PEB)에서는, 23℃의 웨이퍼를 90℃로 가열처리하며, 현상처리 후에 행하여지는 포스트베이킹(POSTBAKE)에서는, 23℃의 웨이퍼를 300℃로 가열처리한다.

#### 발명이 이루고자하는 기술적 과제

그러나 종래에는, 이렇게 각종 가열처리에서의 가열온도가 다름에도 불구하고, 제어장치로 연산되는 PID 제어에서는, 제어파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 및 미분시간으로 입력되는 각종데이터에 대해서는, 동일한 것이 사용되고 있었다.

이 때문에, 어떤 특정한 온도로 웨이퍼를 가열처리할 때에는, 특히 문제는 없으나, 그 특정한 온도와는 다른 온도로 웨이퍼를 가열처리할 때에는, 제어장치는 잘 대응할 수가 없어, 편차가 넓어지고 과도특성은 악화하여, 가열판의 리커버리 타임, 즉 소정의 온도로 안정되기까지의 시간이 길어져 버린다. 이 때문에, 처리효율의 저하를 초래할 우려가 있었다.

또한, 예를 들어 같은 PEB라도 레시피에 따라서 가열온도가 경우가 있으며, 이 때에도 리커버리 타임이 길어질 우려가 있었다.

마찬가지로 냉각처리에 있어서도, 종래의 제어장치로 연산되는 PID 제어에서는, 제어파라미터로 입력되는 각종데이터가, 하나의 패턴으로 고정되어 있기 때문에, 어떤 특정한 온도로 가열처리된 웨이퍼를 23℃로 냉각처리할 때에는, 특히 문제는 없지만, 그 특정한 온도와는 다른 온도까지 가열된 웨이퍼가 냉각판에 놓여지면, 제어장치는 잘 대응할 수 없어, 냉각판의 리커버리 타임이 길어져서, 처리효율의 저하를 초래한다.

본 발명은 이러한 점을 감안하여 이루어진 것으로, 그 목적은, 가열처리나 냉각처리에 있어서, 리커버리 타임을 단축하는 데에 있다.

#### 발명의 구성 및 작용

상기 목적을 감안하여, 본 발명의 제 1 관점에 의하면, 본 발명의 가열처리장치는, 기판이 놓여지는 가열판과, 이 가열판을 다른 온도로 가열가능한 발열체와, 상기 발열체의 온도를 전달함수에 따라 제어하는 온도제어수단과, 상기 전달함수의 제어 파라미터의 설정을 상기 다른 온도마다 변경하는 제어 파라미터변경수단을 구비하고 있다.

본 발명의 제 2 관점에 의하면, 본 발명의 가열처리장치는, 기판이 놓여지는 가열판과, 동일 가열판을 다른 온도로 가열가능한 발열체와, 상기 발열체의 온도를 다음의 관계식 (1)로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과, 상기 전달함수의 제어 파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하는 제어 파라미터변경수단을 구비하고 있다.

$$u = K_p \{ e + (1/T_i) \cdot \int e \, dt + T_d \cdot de/dt \} \quad (1)$$

한편, 식중, u는 조작량, e는 편차[목표온도와 검출신호(관측온도)와의 차],  $K_p$ 는 비례동작계수(비례게인),  $T_i$ 는 적분시간,  $T_d$ 는 미분시간을 각각 나타낸다.

본 발명의 제 3 관점에 의하면, 본 발명의 기판을 냉각처리하는 장치는, 기판이 놓여지는 냉각판과, 상

기 냉각판을 소정의 온도로 조정하는 냉각온도조정체와, 상기 냉각온도조정체의 온도를 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과, 상기 냉각판에 부착된 온도센서와, 냉각대상이 되는 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓은 후의 상기 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어 파라미터의 설정을 변경하는 제어파라미터 변경수단을 구비하고 있다.

본 발명의 제 4 관점에 의하면, 본 발명의 기판을 냉각처리하는 장치는, 기판이 놓여지는 냉각판과, 상기 냉각판을 소정의 온도로 조정하는 냉각온도조정체와, 상기 냉각온도조정체의 온도를 다음 관계식 (2)으로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과, 상기 냉각판에 부착된 온도센서와, 냉각대상이 되는 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓은 후의 상기 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어 파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하는 제어파라미터 변경수단을 구비하고 있다.

$$u' = K_p' \{ e' + (1/T_i') \cdot \int e' dt + T_d' \cdot de' / dt \} \quad (2)$$

또 식중,  $u'$ 는 조작량,  $e'$ 는 편차[목표온도와 검출신호(관측온도)와의 차],  $K_p'$ 는 비례동작계수(비례게인),  $T_i'$ 는 적분시간,  $T_d'$ 는 미분시간을 각각 나타낸다.

본 발명의 제 5 관점에 의하면, 본 발명의 기판을 냉각처리하는 방법은, 상기 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓았을 때의, 이 기판에 의해서 상기 냉각판이 온도상승하여 피크 온도에 달하였을 때의 해당 피크 온도에 기초하여, 전달함수의 제어 파라미터의 설정을 변경하는 공정을 가지고 있다.

본 발명의 제 6 관점에 의하면, 본 발명의 기판을 냉각처리하는 방법은, 기판을 냉각판에 얹어 놓는 공정과, 상기 냉각판의 온도를 다음의 관계식 (2)로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하고, 기판을 소정의 온도로 냉각처리하는 공정과, 상기 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓았을 때의, 이 기판에 의해서 상기 냉각판이 온도상승하여 피크 온도에 달했을 때의 해당 피크 온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어 파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하는 공정을 가지고 있다.

$$u' = K_p' \{ e' + (1/T_i') \cdot \int e' dt + T_d' \cdot de' / dt \} \quad (2)$$

또 식중,  $u'$ 는 조작량,  $e'$ 는 편차[목표온도와 검출신호(관측온도)와의 차],  $K_p'$ 는 비례동작계수(비례게인),  $T_i'$ 는 적분시간,  $T_d'$ 는 미분시간을 각각 나타낸다.

본 발명의 가열처리장치에 의하면, 변경수단에 의해서, 다른 온도마다에 전달함수의 제어 파라미터의 설정을 변경하기 때문에, 온도제어수단은, 각종가열온도에 대응하여 적절히 제어할 수 있다. 따라서, 기판을 가열처리할 때의 온도에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 또한, 온도제어의 안정성이 증가하여, 기판을 균일하게 가열하여 면내균일성을 향상시키는 것이 가능해진다. 더욱 온도제어수단에 적분요소나 미분요소까지 가미한 PID 제어를 채용한 경우에는, 정상편차(오프셋)나 열적진동이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

본 발명의 냉각처리장치에 의하면, 냉각대상이 되는 기판을 냉각판에 얹어 놓은 후의 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 제어 파라미터의 설정을 변경할 수 있기 때문에, 기판의 온도가, 생각하지 못했던 온도이더라도, 항상 적절한 제어 파라미터하에서 효율적으로 냉각할 수 있다. 따라서, 종래보다도 리커버리타임을 단축하는 것이 가능해진다. 또한 냉각대상이 되는 기판을 냉각판에 얹어 놓은 후의 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 제어 파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하여 PID제어를 실시하는 것도 가능하고, 각 제어 파라미터의 변경이 행하여진 온도제어수단은, 냉각온도조정체의 온도를 최적으로 제어할 수 있다.

본 발명의 냉각처리방법에서는 다음의 효과를 얻을 수 있다. 예를 들면 가열처리된 기판이 냉각판에 놓여지면, 이 기판으로부터 냉각판에 열량이 주어져 온도가 상승한다. 그 후, 냉각판이 온도상승하여 피크온도에 달한다. 여기서 미리 실험 등에 의해, 피크 온도와 냉각처리전의 기판초기온도와의 관계를 조사해 두면, 냉각판에 설치된 온도센서 등에 의해서 관측된 피크온도에 기초하여, 이 기판초기온도를 예측할 수 있다. 따라서, 냉각판에 놓여졌을 때의 기판온도의 여하에 상관없이, 냉각판의 온도를 최적으로 제어할 수 있다. 그 결과, 기판초기온도에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 리커버리 타임을 단축할 수 있다.

또한 본 발명의 냉각처리방법에 의하면, 전달함수에 적분요소나 미분요소까지를 더욱 가미한 PID 제어를 채용함으로써, 정상편차(오프셋) 등이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

#### [발명의 실시형태]

이하, 본 발명의 바람직한 실시형태에 대하여 설명한다. 도 1은, 본 발명의 실시형태에 따른 가열처리 장치로서의 베이킹장치 및 냉각처리장치로서의 쿨링장치가 조합되어 있는 도포현상처리장치(1)의 평면도이고, 도 2는, 도포현상처리장치 (1)의 정면도이며, 도 3은, 도포현상처리장치(1)의 배면도이다.

도포현상처리장치(1)는, 도 1에 나타난 바와 같이, 예를 들어 25매의 웨이퍼 (W)를 카세트단위로 외부에서 도포현상처리장치(1)에 대하여 반출입시키거나, 카세트(C)에 대하여 웨이퍼(W)를 반출입시키거나 하는 카세트스테이션(2)과, 도포현상처리공정중에 날장식으로 소정의 처리를 실시하는 각종처리장치를 다 단으로 배치하여 이루어지는 처리스테이션(3)과, 이 처리스테이션(3)에 인접하여 설치되어 있는 노광장치(도시하지 않음)와의 사이에서 웨이퍼(W)의 주조반을 행하는 인터페이스부(4)를 일체로 접속한 구성을 갖고 있다.

카세트스테이션(2)에는, 재치부가 되는 카세트 재치대(5)상의 소정의 위치에, 복수의 카세트(C)를 X방향(도 1중의 상하방향)에 일렬로 재치 자유롭도록 되어 있다. 그리고, 이 카세트배열방향(X방향)과 카세트(C)에 수용된 웨이퍼(W)의 웨이퍼배열방향(Z 방향;연직방향)에 대하여 이송가능한 웨이퍼 반송체(7)가 반송로(8)를 따라 이동이 자유롭도록 설치되어 있으며, 각 카세트(C)에 대하여 선택적으로

엑세스할 수 있도록 되어 있다.

웨이퍼 반송체(7)는, 후술하는 바와 같이 처리스테이션(3)측의 제 3 처리장치군( $G_3$ )에 속하는 얼라이먼트 장치(32)와 익스텐션장치(33)에 대해서도 엑세스할 수 있도록 구성되어 있다.

처리스테이션(3)에는, 그 중심부에 주반송장치(13)가 설치되어 있으며, 주반송장치(13)의 주변에는 각종 처리장치가 다단으로 배치되어서 처리장치군을 구성하고 있다. 해당 도포현상처리장치(1)에 있어서는, 4개의 처리장치군( $G_1, G_2, G_3, G_4$ )이 배치되어 있으며, 제 1 및 제 2 처리장치군( $G_1, G_2$ )은 도포현상처리장치(1)의 정면측에 배치되고, 제 3 처리장치군( $G_3$ )은, 카세트스테이션(2)에 인접하여 배치되며, 제 4 처리장치군( $G_4$ )은, 인터페이스부(4)에 인접하여 배치되어 있다. 또한 옵션으로서 파선으로 나타낸 제 5 처리장치군( $G_5$ )을 배면측에 별도로 배치 가능하도록 되어 있다.

제 1 처리장치군( $G_1$ )에는 도 2에 나타낸 바와 같이, 두종류의 스퍼터형 액도포처리장치, 예를 들면 웨이퍼(W)에 대하여 레지스트를 도포하여 처리하는 레지스트도포장치(15)와 웨이퍼(W)에 현상액을 공급하여 처리하는 현상처리장치(16)가 아래부터 차례로 2단으로 배치되어 있다. 제 2 처리장치군( $G_2$ )의 경우에도 마찬가지로, 레지스트도포장치(17)와, 현상처리장치(18)가 아래부터 차례로 2단으로 적층되어 있다.

제 3 처리장치군( $G_3$ )에는, 예를 들면 도 3에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 실시형태에 따른 쿨링장치(30), 레지스트액과 웨이퍼(W)와의 정착성을 높이기 위한 어드히전장치(31), 웨이퍼(W)의 위치맞춤을 행하는 얼라이먼트장치(32), 웨이퍼(W)를 대기시키는 익스텐션장치(33), 본 발명의 실시형태에 따른 베이킹장치(34, 35, 36, 37)등이 아래부터 차례로 예를 들면 8단으로 적층되어 있다.

제 4 처리장치군( $G_4$ )에는, 예를 들면 쿨링장치(40), 놓여진 웨이퍼(W)를 자연냉각시키는 익스텐션·쿨링장치(41), 익스텐션장치(42), 쿨링장치(43), 베이킹장치(44, 45, 46, 47)등이 아래부터 차례로 예를 들면 8단으로 적층되어 있다.

인터페이스부(4)의 중앙부에는 웨이퍼 반송체(50)가 설치되어 있다. 이 웨이퍼 반송체(50)는, 제 4 처리장치군( $G_4$ )에 속하는 익스텐션·쿨링장치(41), 익스텐션장치(42), 주변노광장치(51) 및 노광장치(도시하지 않음)에 대하여 엑세스할 수 있도록 구성되어 있다.

본 발명의 실시형태에 따른 베이킹장치(34~37, 44~47)에 대해서는, 어느 장치나 마찬가지로의 구성을 갖고 있기 때문에, 베이킹장치(34)를 예로 들어 설명한다. 베이킹장치(34)는, 도 4에 나타낸 바와 같이 웨이퍼(W)가 놓여진 예를 들면 원반형상의 가열판(60)과, 동 가열판(60)을 다른 온도로 발열가능한 히터(61)와, 히터(61)의 온도를 PID제어에 따라서 제어하는 온도제어수단(62)과, PID제어의 제어파라미터의 설정을 다른 온도(각종가열처리의 목표온도)마다로 변경하는 PID제어파라미터 변경수단(63)을 구비하고 있다.

가열판(60)에는, 온도센서(64)가 부착되어 있다. 히터(61)는, 가열판(60)내에 내장되는 동시에, 전원제어부(65)로부터의 전류공급에 의해 발열한다. 온도센서(64)는 온도제어수단(62)에 접속되고, 전원제어부(65)는 온도제어수단(62)에 접속되어 있다. 그리고 온도센서(64)로부터의 검출신호에 기초하여 온도제어수단(62)이 조작량을 산출하고, 이 조작량이 전원제어부(65)에 송신되어, 그 결과, 히터(61), 나아가서는 가열판(60)을 예를 들어 0~350℃의 범위내에서 발열시키도록 제어된다.

이 때문에, 레지스트도포후에 웨이퍼(W)를 예를 들어 200℃로 가열처리하는 프리베이킹(PREBAKE)와, 노광처리후에 웨이퍼(W)를 예를 들어 90℃로 가열처리하는 포스트·엑스포저·베이킹(PEB)와, 현상처리후에 웨이퍼(W)를 예를 들어 300℃로 가열처리하는 포스트베이킹(POSTBAKE)를, 1대의 베이킹장치(34)로 모두 행할 수 있는 구성으로 되어 있다.

도 5는, 베이킹장치(34)의 제어계를 나타내는 블록선도이다. 예를 들면 도 5에 나타낸 바와 같이, 먼저 온도제어수단(62)에, 목표온도  $r$ 를 입력하기 위한 입력라인(66)이 접속되어 있다. 입력라인(66)에는 가산점(67)이 형성되어 있다. 이 가산점(67)에 온도센서(64)로부터의 검출신호(관측온도  $y$ )를 귀환하기 위한 피드백라인(68)이 접속되어 있다.

그리고, 입력라인(66)에 접속된 분기점(69)으로부터 라인(70, 71, 72)이 분기하고 있다. 라인(70)에 비례요소연산자(75)가, 라인(71)에 적분요소연산자(76)가, 라인(72)에 미분요소연산자(77)가 각각 설치되어 있다.

이와 같이, 온도제어수단(62)의 내부에서는, 목표온도  $r$ 와 관측온도  $y$ 와의 사이의 편차  $e$ 를 비례요소, 적분요소 및 미분요소의 3개의 요소로 나누어 취급하며, 각 요소의 연산처리를 행하는 구성으로 되어 있다. 연산자(78)가, 라인(70~72)이 합류하는 가산점(79)에 대하여 라인(80)을 통하여 접속되어 있다.

또한, 연산자(78)는 라인(81)을 통해 전원제어부(65)에 접속되고, 전원제어부(65)는 라인(82)을 통해 히터(61)에 접속되어 있다. 이에 따라, 각 요소의 연산처리의 결과가 가산점(79)으로 합산되어, 여기에 연산자(78)의 계수가 곱해져 조작량  $u$ 가 산출되어, 전원제어부(65)로 출력된다. 마지막으로 전원제어부(65)로 히터(61)에 공급하는 전력량  $v$ 가 결정되도록 되어 있다.

입력라인(83)은 PID제어파라미터 변경수단(63)에 접속되어 있다. PID제어파라미터 변경수단(63)은, 라인(84)에 의해 비례요소연산자(75)에, 라인(85)에 의해 적분요소연산자(76)에, 라인(87)에 의해 미분요소연산자(77)에, 라인(86)에 의해 연산자(78)에 각각 접속되어 있다.

연산에 사용되는 적분시간  $T_i$ 는 적분요소연산자(76)로, 미분시간  $T_d$ 는 미분요소연산자(77)로, 비례동작계수(비례게인) $K_p$ 는 연산자(78)로 각각 설정되어 있으며, 이들 각 제어파라미터를 사용하여 연산처리가 행하여진다.

여기서, 각 연산자(75~78)에는, 각 제어파라미터가 수정이 가능하도록 되어 있다. 즉, 미리 실험 등으

로, 각종가열처리의 목표온도  $r$ 에 대한 최적의 각 제어파라미터의 데이터를 조사해 두고, 이들을 PID제어파라미터변경수단(63)에 기억시켜 놓는다. 가열처리시에, PID제어파라미터 변경수단(63)에 입력라인(83)으로부터 목표온도  $r$ 가 입력되면, PID제어파라미터 변경수단(63)이, 이 목표온도  $r$ 에 기초하여 기억한 데이터중에서 최적의 각 제어 파라미터를 선출하여, 각 제어 파라미터를 적절히 변경하도록 되어 있다.

그 외에, 베이킹장치(34)에는, 웨이퍼(W)를 반출입시킬 때에 웨이퍼(W)를 승강하는 3개의 승강핀(90)이 설치되어 있으며, 이들 승강핀(90)은, 도시하지 않은 구동기구에 의해서, 가열판(60)을 관통하고 있는 관통구멍(91)내를 승강자유롭게 되어 있다. 또한 가열판(60)상에는, 웨이퍼(W)를 가열판(60)의 윗면으로부터 약간 떨어져 지지하기 위한 프록시미티핀(92)이 설치되어 있다. 그 때문에, 웨이퍼(W)의 아랫면과 가열판(60)의 윗면과의 사이에 미소한 공간이 형성되어, 웨이퍼(W)의 아랫면이 가열판(60)의 윗면과 직접 접촉하는 것을 피할 수 있어, 이 사이에 먼지 등이 있는 경우에도 웨이퍼의 아랫면이 오염되거나, 손상되거나 하는 일이 없도록 되어 있다.

이어서, 본 발명의 실시형태에 따른 쿨링장치(30, 40, 43)에 대해서는, 어느 장치나 마찬가지로의 구성을 갖고 있기 때문에, 쿨링장치(30)를 예로 들어 설명한다. 쿨링장치(30)는, 도 6에 나타낸 바와 같이 웨이퍼(W)가 놓여지는 냉각판(100)과, 냉각판(100)을 소정의 온도로 조정하는 펌티에소자(101)와, 펌티에소자(101)에 전력을 공급하는 전원제어부(102)와, 전원제어부(102)에 조작량을 송신하여 펌티에소자(101)의 온도를 PID제어에 따라서 제어하는 온도제어수단(103)과, 냉각판(100)에 부착된 온도센서(104)와, 냉각대상이 되는 웨이퍼(W)를 냉각판(100)에 얹어 놓은 후의 온도센서(104)에 의해서 검출된 냉각판(100)의 온도에 기초하여, PID제어의 제어 파라미터의 설정을 변경하는 PID제어파라미터 변경수단(105)을 구비하고 있다.

PID제어파라미터 변경수단(105)은, 웨이퍼(W)를 소정의 온도로서 예를 들면  $23^{\circ}\text{C}$ 로 냉각처리할 수 있도록, 제어파라미터의 설정변경을 행하는 기능을 가지고 있다.

도 7은, 쿨링장치(30)의 제어계를 나타내는 블록선도이다. 예를 들면 도 7에 나타낸 바와 같이, 온도제어수단(103)은 비례요소 연산자(106), 적분요소 연산자(107), 미분요소 연산자(108), 연산자(109)를 가지며, 앞서 설명한 온도제어수단 (62)과 마찬가지로 PID제어를 행한다. 적분시간  $T_i$ 는 적분요소 연산자(107)로, 미분시간  $T_d$ 는 미분요소 연산자(108)로, 비례동작계수(비례게인)  $K_p$ 는 연산자 (109)로 각각 설정되어 있으며, 이들 각 제어파라미터를 사용하여 연산처리가 행하여진다. 또한, PID제어파라미터 변경수단(105)과 온도센서(104)와의 사이는 라인 (110)으로 접속되고, 온도센서(104)로부터의 검출신호(관측온도  $y$ )가 PID제어파라미터 변경수단(105)에 보내지도록 되어 있다. 또, 도 5 및 도 7중에 있어서, 대략 동일한 기능 및 구성을 가진 구성요소에 대해서는, 동일부호를 붙임으로써, 중복설명은 생략되고 있다.

그 외에, 쿨링장치(30)에는, 펌티에소자(101)의 열을 방열시키기 위한 유로(111)가 설치된다. 이 유로(111)는 냉각판(100)내를 지나서, 도시하지 않은 냉각수공급기구로부터 공급된 냉각수를 흐르게 하도록 되어 있다. 또한, 앞의 베이킹장치(34)와 마찬가지로 3개의 승강핀(90)이, 관통구멍(91)내를 승강자유롭고, 냉각판(100)상에 프록시미티핀(92)이 설치되어 있다.

다음에, 이상과 같이 구성된 베이킹장치(34) 및 베이킹장치(34)의 가열처리후에 행하여지는 쿨링장치(30)의 작용에 대하여, 도포현상처리장치(1)로 행하여지는 웨이퍼(W)의 도포현상처리의 일례에 기초하여 설명한다.

먼저, 웨이퍼 반송체(7)가 카세트(C)로부터 미처리된 웨이퍼(W)를 1매 꺼내어, 제 3 처리장치군( $G_3$ )에 속하는 얼라이언트장치(32)에 반입한다. 이어서, 얼라이언트장치(32)에서 위치 맞춤이 종료된 웨이퍼(W)는, 주반송장치(13)에 의해서, 어드히전장치(31), 쿨링장치(30), 레지스트도포장치(15 또는 17)로 차례로 반송되어, 소정의 처리가 실시된다. 그 후, 베이킹장치(34)에 반송되어, 레지스트층의 잔류용제는 증발된다.

여기서, 웨이퍼(W)의 가열처리에 대하여 설명한다. 먼저 온도제어수단(62)에 의한 가열판(60)의 온도제어에 대하여 설명하면, 도 5에 나타낸 바와 같이, 가열판 (60)의 목표온도  $r$ 이 입력라인(66)에 의해 입력된다. 또한, 목표온도  $r$ 는 PID제어파라미터 변경수단(63)에도 입력되고, 이 목표온도  $r$ 에 기초하여, PID제어파라미터 변경수단(63)은, 각 연산자(75~78)의 각 제어 파라미터를 설정한다. 한편, 가열판(60)의 온도가 온도센서(64)에 의해 검출되어, 피드백라인(68)을 지나서 검출신호(관측온도  $y$ )가 가산점(67)에까지 보내진다. 이 가산점(67)에서는 상기한 목표온도  $r$ 과 검출신호(관측온도  $y$ )와의 사이에서 뺄셈이 행하여져, 목표온도  $r$ 과 검출신호(관측온도  $y$ )와의 사이의 차가 편차  $e$ 로서 산출된다. 이렇게 해서 얻은 편차  $e$ 는, 비례성분  $p$ , 적분성분  $i$  및 미분성분  $d$ 의 3개의 성분으로 나누어지고, 각 라인(70~72)을 지나 각 연산자(75~77)에 보내진다.

각 연산자(75~77)에서는 적분시간  $T_i$ , 미분시간  $T_d$  등의 각 제어파라미터를 사용하여 연산처리가 행하여져, 가산점(79)에 보내진다. 이 가산점(79)에서는 상기 각 연산자(75~77)에서 연산처리한 결과가 합산되고, 다시 연산자(78)에서 비례동작계수  $K_p$ 가 곱해져 하기의 식(3)으로 나타내는 조작량  $u$ 가 산출된다.

$$u = K_p \{ e + (1/T_i) \cdot \int e d\tau + T_d \cdot de/dt \} \quad (3)$$

단, 식중, 「 $\int e d\tau$ 」는 편차  $e$ 의 적분성분을 나타내고, 「 $de/dt$ 」는 편차  $e$ 의 미분성분을 나타낸다.

이 조작량  $u$ 를 시간의 함수로서 파악하여, 시간에 관한 함수  $u(t)$ 로서 나타내면 다음의 식(4)와 같이 된다.

$$u(t) = K_p \cdot \{ e(t) + (1/T_i) \cdot \int e(\tau) d\tau + T_d \cdot de(t)/dt \} \quad (4)$$

단, 식중, 「 $e(t)$ 」는 시간  $t$ 에 있어서의 편차를, 「 $\int e(\tau) d\tau$ 」는 편차  $e$ 의 적분성분을 나타내며,

「 $de(t)/dt$ 」는 시간  $t$ 에 있어서의 편차  $e(t)$ 의 미분성분을 나타낸다.

이렇게 하여 얻어진 조작량  $u(t)$ 는 라인(81)을 통해 전원제어부(65)에 보내진다. 전원제어부(65)에서는, 이 조작량  $u(t)$ 에 기초하여 전력량  $v(t)$ 를 라인(82)을 통해 히터(61)에 공급하고 히터(61)에서는, 이 전력량  $v(t)$ 에 기초하여, 대응하는 열량을 가열판(60)에 공급한다.

이렇게 해서, 시간이  $t_0, t_1, t_2, t_3 \dots$ 로 시간이 경과할 때마다 조작량  $u(t_0), u(t_1), u(t_2), u(t_3) \dots$ 을 전원제어부(65)에 보내고, 전원제어부(65)에서는 이들 조작량에 기초하여 히터(61)를 발열시켜, 가열판(60)을 가열한다. 그 온도는 온도센서(64)에 의해 검출되며, 항상 목표온도  $r$  과의 어긋남인 편차  $e$  에 기초하여 가열판(60)의 온도가 목표온도  $r$  이 되도록 피드백제어가 행하여진다.

다음에, 가열판(60)에 의한 가열처리를, 도 8에 기초하여 설명한다. 도 8에서는, 가로축을 가열시간[s(초)], 세로축을 가열판(60)의 온도[°C]로 하였다. 도 8에 나타내는 그래프선  $m$  과 같이, 먼저 목표온도  $r$  이 온도제어수단(62)에 입력되고, 웨이퍼(W)가 놓여지기 전부터 히터(61)에 의한 가열이 행하여져 가열판(60)을 목표온도로 유지한다(시간  $t_0 \sim t_1$ ).

이어서, 23°C(상온)의 웨이퍼(W)가 가열판(60)에 놓인다. 이 웨이퍼(W)에 의해 가열판(60)으로부터 열량을 빼앗아 온도가 저하(시간  $t_1 \sim t_2$ )하지만, 최적의 각 제어 파라미터가 설정되어 있는 온도제어수단(62)에서는, 히터(61)를 적정하게 온도제어할 수 있어, 가열판(60)의 온도저하를 최소한으로 멈추게 한다. 그 후에도 히터(61)의 온도제어를 행하여, 대폭적인 과잉가열이 일어나지 않도록 하여 가열판(60)의 온도를 상승시킨다(시간  $t_2 \sim t_3$ ). 그 후, 목표온도  $r$  를 조금 상회하면, 히터(61)의 발열작용을 약하게 하여 목표온도  $r$  부근에 도달시킨다(시간  $t_3 \sim t_4$ ). 이렇게 해서, 가열판(60)의 온도가 목표온도  $r$  로 안정된다.

이어서, 가열처리되어 고온상태가 된 웨이퍼(W)는, 쿨링장치(30)로 반송되어, 23°C로 냉각처리된다. 여기서, 웨이퍼(W)의 냉각처리에 대하여 설명한다. 먼저 온도제어수단(103)에 의한 냉각판(100)의 온도제어는, 앞서 설명한 온도제어수단(62)과 거의 같은 순서로 행하여져, 하기의 식(5)로 나타내는 조작량  $u'$  이 산출된다.

$$u' = K_p' \{ e' + (1/T_1') \cdot \int e' d\tau + T_0' \cdot de' / dt \} \quad (5)$$

단, 식중 「 $\int e' d\tau$ 」는 편차  $e'$ 의 적분성분을 나타내고, 「 $de' / dt$ 」는 시간  $t$ 에 있어서의 편차  $e'$ 의 미분성분을 나타낸다.

이 조작량  $u'$ 을 시간의 함수로서 파악하여, 시간에 관한 함수  $u'(t)$ 로서 나타내면 다음의 식(6)과 같이 된다.

$$u'(t) = K_p' \{ e'(t) + (1/T_1') \cdot \int e'(\tau) d\tau + T_0' \cdot de'(t)/dt \} \quad (6)$$

단, 식중 「 $e'(t)$ 」는 시간  $t$ 에 있어서의 편차를, 「 $\int e'(\tau) d\tau$ 」는 편차  $e'$ 의 적분성분을 나타내고, 「 $de'(t)/dt$ 」는 시간  $t$ 에 있어서의 편차  $e'(t)$ 의 미분성분을 나타낸다.

이렇게 해서 얻어진 조작량  $u'(t)$ 은 라인(81)을 통해 전원제어부(102)에 보내지고, 전원제어부(102)는, 이 조작량  $u'(t)$ 에 기초하여 전력량  $v'(t)$ 를 라인(82)을 통해 펄티에소자(101)에 공급한다. 그리고 펄티에소자(101)가 냉각판(100)을 냉각한다.

PID제어파라미터 변경수단(105)에는 온도센서(104)로부터의 검출신호(관측온도  $y'$ )가 입력되고, 이 검출신호(관측온도  $y'$ )에 기초하여, PID제어 파라미터 변경수단(105)은, 각 연산자(106~109)의 각 제어 파라미터를 설정한다.

PID제어파라미터 변경수단(105)에 의한 설정변경은 하기와 같이 하여 행하여진다. 예를 들면 도 9에 나타내는 그래프  $n$ 과 같이, 먼저 냉각판(100)은, 23°C(상온)로 유지되어 있다(시간  $t_0 \sim t_1$ ). 그 후, 가열처리된 웨이퍼(W)가 놓여지면, 이 웨이퍼(W)에 의해 냉각판(100)에 열량이 주어져 온도가 상승하고, 피크온도  $T_p$ 에 달한다(시간  $t_1 \sim t_2$ ). 여기서, 미리 실험 등에 의해 피크온도  $T_p$ 에 대한 냉각처리전의 웨이퍼초기온도의 관계를 조사하여 두고, 그 관계를 표로 만들어서 PID제어파라미터 변경수단(105)의 기억부(도시하지 않음)에 기억시켜 놓는다. 그렇게 하면, 웨이퍼(W)가 놓여진 후에 피크온도  $T_p$ 를 검출함으로써, 웨이퍼초기온도를 예측할 수 있다. 또한, 이 예측한 웨이퍼온도에 따라서, 이것도 미리 실험 등으로 조사해 둔 최적의 각 제어파라미터를, PID제어파라미터 변경수단(105)이 각 연산자(106~109)로 설정하게 된다.

이어서, 냉각판(100)에 의한 냉각처리를 도 10에 기초하여 설명한다. 도 10에서는, 가로축은 냉각시간[s], 세로축은 냉각판(100)의 온도[°C]이다. 도 10에 나타내는 그래프선  $n$ 과 같이, 웨이퍼(W)를 냉각판(100)에 얹어 놓는다. 웨이퍼(W)를 냉각판(100)에 얹어 놓았을 때, 이 웨이퍼(W)에 의해서 냉각판(100)이 온도상승하여 피크온도  $T_p$ 에 달했을 때, 이 피크온도  $T_p$ 에 기초하여, PID제어의 제어파라미터의 설정을 변경한다. 최적의 각 제어 파라미터가 설정되어 있는 온도제어수단(103)에서는, 펄티에소자(101)를 적정하게 온도제어할 수 있어, 대폭적인 과잉냉각이 일어나지 않도록 하여 냉각판(100)의 온도를 저하시킬 수 있다(시간  $t_2 \sim t_3$ ). 그 후, 바닥온도  $T_b$ 에 달하면, 펄티에소자(101)에 의한 냉열작용을 약하게 하여 냉각판(100)의 온도를 상승시킨다(시간  $t_3 \sim t_4$ ). 이렇게 해서, 냉각판(100)의 온도를 23°C로 안정시킨다.

이어서, 냉각처리되어 상온이 된 웨이퍼(W)는, 익스텐션장치(33), 주변노광장치(51), 노광장치(도시하지 않음), 베이킹장치(34), 쿨링장치(30), 현상처리장치(16 또는 18), 베이킹장치(34), 쿨링장치(30)로 차례로 반송되어, 소정의 처리가 실시된다.

베이킹장치(34)에 있어서는, 노광후, 또는 현상후의 가열처리에서도, 각각 고유의 목표온도  $r$ 이 온도제



어수단(62)에 입력됨으로써, 레지스트도포후의 가열처리와 마찬가지로 짧은 리커버리 타임으로 가열판(60)의 온도를 목표온도  $r$ 로 안정시킨다. 또한 쿨링장치(30)에 있어서는, 포스트·엑스포저·베이크 후, 또는 포스트베이크 후의 냉각처리에서도, 각각 피크온도  $T_p$ 를 읽어 내어, 프리베이크 후의 냉각 처리시와 마찬가지로 짧은 리커버리 타임으로 냉각판(100)의 온도를 23℃로 안정시킨다.

이러한 베이킹장치(34)에 의하면, PID제어파라미터 변경수단(63)에 의해서, 다른 온도마다 PID제어의 각 제어 파라미터의 설정을 변경하기 때문에, 온도제어수단(62)은, 각종가열온도에 대응하여 적절하게 온도 제어할 수 있다. 따라서, 웨이퍼(W)를 가열처리할 때의 온도에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 따라서, 처리효율이 향상한다. 또한, 온도제어의 안정성이 증가하고, 웨이퍼(W)를 균일하게 가열하여 면내균일성을 향상시킬 수 있다.

한편, 쿨링장치(30)에 의하면, 냉각대상이 되는 웨이퍼(W)를 냉각판(100)에 얹어 놓은 후의 피크온도  $T_p$ 에 기초하여 PID제어의 각 제어 파라미터의 설정을 변경할 수 있기 때문에, 냉각판(100)에 놓여질 때의 웨이퍼온도의 여하에 상관없이, 온도제어수단(103)은, 펄티에소자(101)의 온도, 나아가서는 냉각판(100)의 온도를 최적으로 제어할 수 있다. 그리고 냉각대상이 되는 웨이퍼(W)가 예상한 온도 외의 온도이더라도, 항상 적절한 제어파라미터하에서 효율적으로 냉각할 수 있다. 따라서, 웨이퍼초기온도에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 그 결과, 처리효율은 향상한다.

또한 온도제어수단(62, 103)에 적분요소나 미분요소까지를 가미한 PID제어를 채용하고 있기 때문에, 정상 편차(오프셋)나 열적진동이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

또, 도포현상처리장치(1)의 웨이퍼(W)의 반송경로는, 자유롭게 설정할 수 있고, 베이킹장치(35~37, 44~47)로 각종가열처리를 행하거나, 쿨링장치(40, 43)로 각종 냉각처리를 행하는 것이 가능하다. 또한, 기판은, 상기 웨이퍼(W)와 같은 원반형상뿐만 아니라, LCD기판과 같은 사각형의 기판이라도 좋다.

다음에, 본 발명의 실시형태에 따른 베이킹장치(34)를 사용하여 웨이퍼(W)의 가열처리를 행하였을 때의, 각 제어파라미터와 리커버리 타임 및 면내균일성 등의 특성에 대하여 조사한 결과를 다음에 기술한다.

베이킹장치(34)에 있어서, 패턴 1에서는,  $K_p=2.8$ ,  $T_i=80$ ,  $T_0=15$ 로 각 제어파라미터를 설정하고, 패턴 2에서는,  $K_p=2.8$ ,  $T_i=80$ ,  $T_0=7$ 로 각 제어 파라미터를 설정하고, 패턴 3에서는,  $K_p=4.0$ ,  $T_i=49$ ,  $T_0=12$ 로 각 제어 파라미터를 설정하여 가열처리를 행하였다. 이들 패턴 1~3에 있어서, 가열판(60)의 온도를 90℃, 120℃, 150℃, 180℃로 차례로 변화시켜, 리커버리타임, 오버슈트량, 가열판(60)의 면내균일성 및 웨이퍼(W)의 면내균일성의 특성이 각각 어떻게 변화하는지를 조사하였다. 그들 결과를 도 11~18에 나타낸다.

도 11 및 도 12는 리커버리 타임의 특성을, 도 13 및 도 14는 오버슈트량의 특성을, 도 15 및 도 16은 웨이퍼(W)의 면내균일성의 특성을, 도 17 및 도 18은 가열판(60)의 면내균일성의 특성을 각각 나타낸 표 및 그래프이다. 도 12중의 그래프선 a1, 도 14중의 그래프선 a2, 도 16중의 그래프선 a3, 도 18중의 그래프선 a4는, 패턴 1에서의 각각의 특성을 나타내고 있다. 도 12중의 그래프선 b1, 도 14중의 그래프선 b2, 도 16중의 그래프선 b3, 도 18중의 그래프선 b4는, 패턴 2에서의 각각의 특성을 나타내고 있다. 도 12중의 그래프선 c1, 도 14중의 그래프선 c2, 도 16중의 그래프선 c3, 도 18중의 그래프선 c4는, 패턴 3에서의 각각의 특성을 나타내고 있다.

이러한 베이킹장치(34)에서는, 패턴 1~3을 PID제어파라미터 변경수단(63)에 기억시켜 놓는다. 그리고, 예를 들어 목표온도  $r$ 이 120℃일 때에는 패턴 1에 따라서, 목표온도  $r$ 이 180℃일 때에는 패턴 2에 따라서, PID제어파라미터 변경수단(63)이, 온도제어수단(62)의 각 제어파라미터를 설정한다. 그렇게 하면, 목표온도  $r$ 이 120℃일 때에는, 리커버리 타임을 30초, 오버슈트를 0.2℃, 웨이퍼면내의 온도의 불균일  $3\sigma$ (표준편차  $\sigma$ 의 3배)를 0.85℃, 가열판(60)의 온도의 불균일  $3\sigma$ (표준편차  $\sigma$ 의 3배)를 0.26℃로 각각 억제하고, 목표온도  $r$ 이 180℃일 때에는, 리커버리 타임을 44초, 오버슈트를 0.5℃, 웨이퍼면내의 온도의 불균일  $3\sigma$ (표준편차  $\sigma$ 의 3배)를 1.63℃, 가열판(60)의 온도의 불균일  $3\sigma$ (표준편차  $\sigma$ 의 3배)를 0.77℃로 각각 억제할 수 있다. 만일 온도제어수단(62)의 각 제어파라미터를 패턴 1에서 고정해 버리면, 목표온도  $r$ 이 180℃일 때에는, 리커버리 타임이 61초가 되어 버린다. 이와 같이, 목표온도  $r$ 에 따라서 각 제어파라미터를 변경함으로써, 리커버리 타임, 웨이퍼(W)의 면내균일성 등의 특성을 양호하게 하는 것을 확인할 수 있다.

다음에, 본 발명의 실시형태에 따른 쿨링장치(30)를 사용하여 웨이퍼(W)의 냉각처리를 행하여, 리커버리 타임의 특성에 대하여 조사하였다.

냉각처리의 제 1 실시예로서, 웨이퍼초기온도가 저온영역(90℃, 120℃)에서의 리커버리 타임을 측정하였다. 또한, 조건을 이하와 같이 설정하였다. 주위온도를 23℃, 냉각수량을 3리터/min, 프록시미티 갭을 0.10m, 베이킹장치(34)로부터 쿨링장치(30)로 반송하는 데에 걸리는 반송시간을 6초, 각 제어 파라미터를  $K_p=2$ ,  $A=0.8$ ,  $T_i=5$ ,  $T_0=1$ 로 설정하고, 냉각수온도가 15℃와 25℃일 때의 2개의 케이스에 대하여 조사하였다. 그 결과를 도 19에 나타낸다. 여기서, A는, 적분동작을 유효하게 하는 범위를 한정하여 오버슈트를 미연에 방지하기 위한 정수이다. 단위는, [℃]이다.

도 19에 나타낸 바와 같이, 상기의 각 제어파라미터를 선정함으로써, 웨이퍼초기온도가 저온영역(90℃, 120℃)에서의 리커버리 타임을 30초 이하로 단축할 수가 있다.

또한, 냉각처리의 제 2 실시예로서, 각 제어파라미터의 설정을  $K_p=2$ ,  $A=1$ ,  $T_i=5$ ,  $T_0=2$ 로 변경하고, 웨이퍼초기온도가 90℃, 120℃, 150℃, 200℃에서의 리커버리 타임을 측정하였다. 그 결과를 도 20에 나타낸다.

도 20에 나타낸 바와 같이, 상기의 각 제어파라미터를 선정함으로써, 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼초기온도가 90℃, 120℃일 때에는, 제 1 실시예의 각 제어파라미터의 설정으로 온도제

어를 행하고, 웨이퍼초기온도가 150℃, 200℃일 때에는, 제 2 실시예의 각 제어파라미터의 설정으로 온도제어를 행하도록 하면 좋다. 이에 따라, 웨이퍼초기온도에 따라서 리커버리 타임의 단축을 도모할 수 있다.

또한, 웨이퍼초기온도가 200℃, 250℃일 때의 피크온도  $T_p$  및 피크온도  $T_p$  에 도달하는 데에 걸리는 도달 시간(앞의 도 10에서는, 시간  $t_1 \sim t_2$ 에 상당)을 측정하였다. 그 결과를 도 21에 나타낸다.

도 21에 나타난 바와 같이, 피크온도  $T_p$  와 웨이퍼초기온도와의 관계를 표로 만들고, 이것을 PID제어 파라미터변경수단(105)에 기억시켜 놓는다. 냉각처리시에, 피크온도  $T_p$  로부터 예측한 웨이퍼초기온도에 따라서, 최적의 각 제어파라미터를 선정할 수 있다. 물론, 도달시간과의 관계도 기억시켜 놓아도 좋다.

#### 발명의 효과

본 발명에 의하면, 기판을 가열처리할 때의 온도에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 그 결과, 처리효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 온도제어의 안정성이 증가하여, 기판을 균일하게 가열하여 면내균일성을 향상시키는 것이 가능하다. 정상편차(오프셋)나 열적진동이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

본 발명에 의하면, 냉각판에 놓여질 때의 기판온도의 여하에 상관없이, 과도특성이 개선되어, 소정 온도까지로 냉각할 때의 리커버리 타임을 단축할 수 있다. 따라서, 처리효율을 향상시킬 수 있다. 정상편차(오프셋) 등이 억제되어, 보다 정밀도가 높은 온도제어를 행할 수 있다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1

기판을 가열처리하는 장치로서,

기판이 놓여지는 가열판과,

상기 가열판을 다른 온도로 가열가능한 발열체와,

상기 발열체의 온도를 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과,

상기 전달함수의 제어파라미터의 설정을 상기 다른 온도마다 변경하는 제어파라미터 변경수단을 구비하고 있는 가열처리장치.

##### 청구항 2

기판을 가열처리하는 장치로서,

기판이 놓여진 가열판과,

상기 가열판을 다른 온도로 가열가능한 발열체와,

상기 발열체의 온도를 다음의 관계식 (1)로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과,

상기 전달함수의 제어파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의, 적어도 어느 하나의 설정을 상기 다른 온도마다 변경하는 제어 파라미터변경수단을 구비하고 있는 가열처리장치.

$$u = K_p \{ e + (1/T_i) \cdot \int e \, dt + T_D \cdot de/dt \} \quad (1)$$

{한편 식중,  $u$ 는 조작량,  $e$ 는 편차,  $K_p$ 는 비례동작계수(비례 게인),  $T_i$ 는 적분시간,  $T_D$ 는 미분시간을 각각 나타낸다}

##### 청구항 3

기판을 냉각처리하는 장치로서,

기판이 놓이는 냉각판과,

상기 냉각판을 소정의 온도로 조정하는 냉각온도조정체와,

상기 냉각온도조정체의 온도를 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과,

상기 냉각판에 부착된 온도센서와,

냉각대상이 되는 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓은 후의 상기 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어 파라미터의 설정을 변경하는 제어파라미터변경수단을 구비하고 있는 냉각처리장치.

##### 청구항 4

기판을 냉각처리하는 장치로서,

기판이 놓여지는 냉각판과,

상기 냉각판을 소정의 온도로 조정하는 냉각온도조정체와,

상기 냉각온도조정체의 온도를 다음 관계식 (2)로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하는 온도제어수단과,

상기 냉각판에 부착된 온도센서와,

냉각대상이 되는 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓은 후의 상기 온도센서에 의해서 검출된 냉각판의 온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 하나의 설정을 변경하는 제어파라미터변경수단을 구비하고 있는 냉각처리장치.

$$u' = K_p' \{ e' + (1/T_i') \cdot \int e' dt + T_d' \cdot de' / dt \} \quad (2)$$

{식중,  $u'$  는 조작량,  $e'$  는 편차,  $K_p'$  는 비례동작계수(비례 게인),  $T_i'$  는 적분시간,  $T_d'$  는 미분시간을 각각 나타낸다}

#### 청구항 5

기판을 냉각판에 얹어 놓고, 해당 냉각판의 온도를 전달함수에 따라서 제어하여 해당 기판을 소정의 온도로 냉각처리하는 방법으로서,

상기 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓았을 때의, 이 기판에 의해서 상기 냉각판이 온도상승하여 피크온도에 달하였을 때의 해당 피크온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어파라미터의 설정을 변경하는 공정을 가지고 있는 냉각처리방법.

#### 청구항 6

기판을 냉각처리하는 방법으로서,

기판을 냉각판에 얹어 놓는 공정과,

상기 냉각판의 온도를 다음 관계식 (2)로 나타내는 전달함수에 따라서 제어하고, 기판을 소정의 온도로 냉각처리하는 공정과,

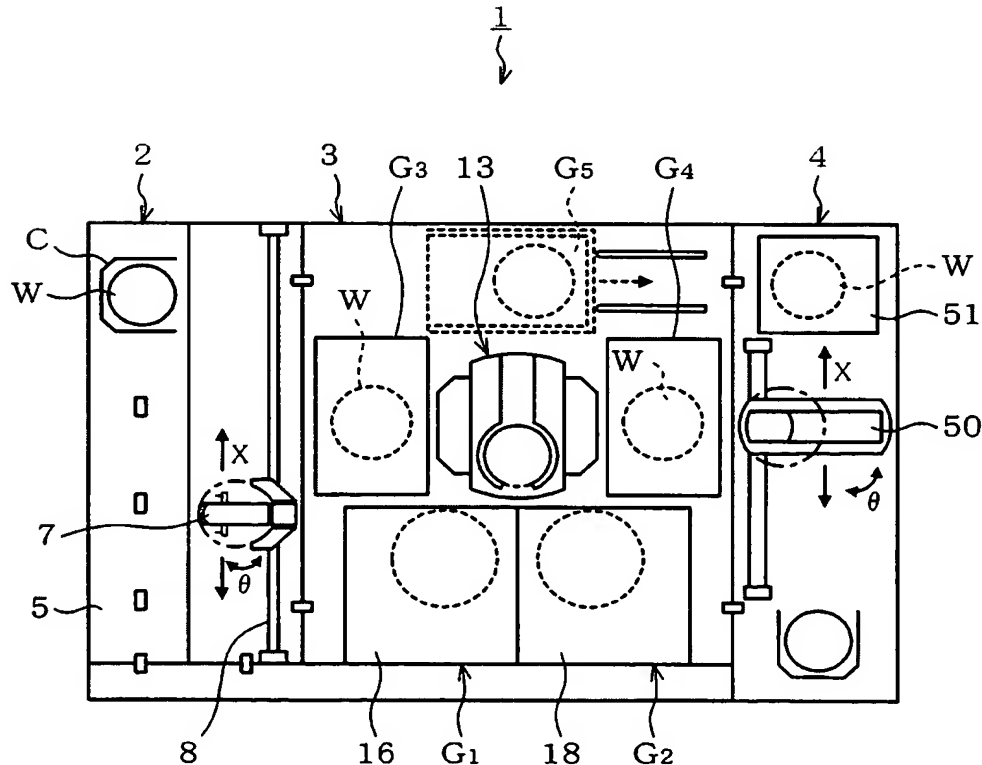
상기 기판을 상기 냉각판에 얹어 놓았을 때의, 이 기판에 의해서 상기 냉각판이 온도상승하여 피크온도에 달하였을 때의 해당 피크온도에 기초하여, 상기 전달함수의 제어파라미터중의 비례동작계수, 적분시간 또는 미분시간중의 적어도 어느 하나의 설정을 변경하는 공정을 가지고 있는 것을 특징으로 하는, 냉각처리방법.

$$u' = K_p' \{ e' + (1/T_i') \cdot \int e' dt + T_d' \cdot de' / dt \} \quad (2)$$

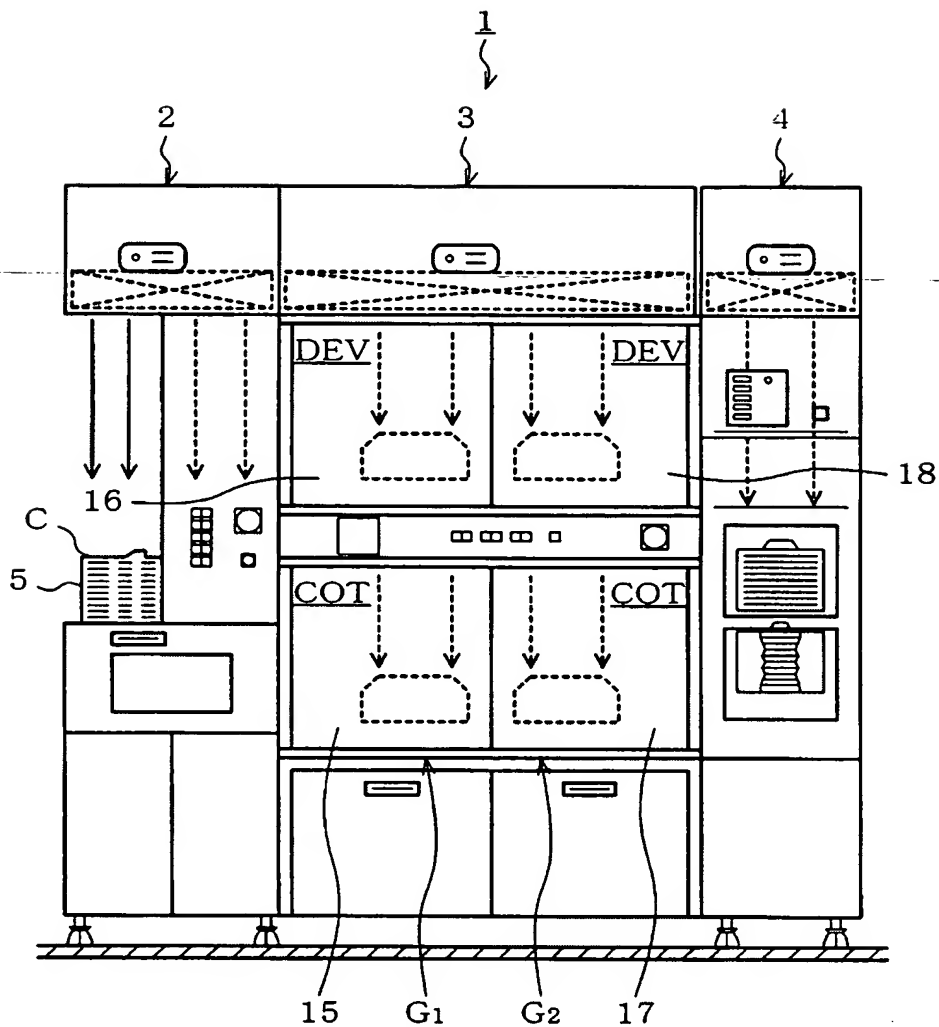
{한편 식중,  $u'$  는 조작량,  $e'$  는 편차,  $K_p'$  는 비례동작계수(비례 게인),  $T_i'$  은 적분시간,  $T_d'$  는 미분시간을 각각 나타낸다}

도면

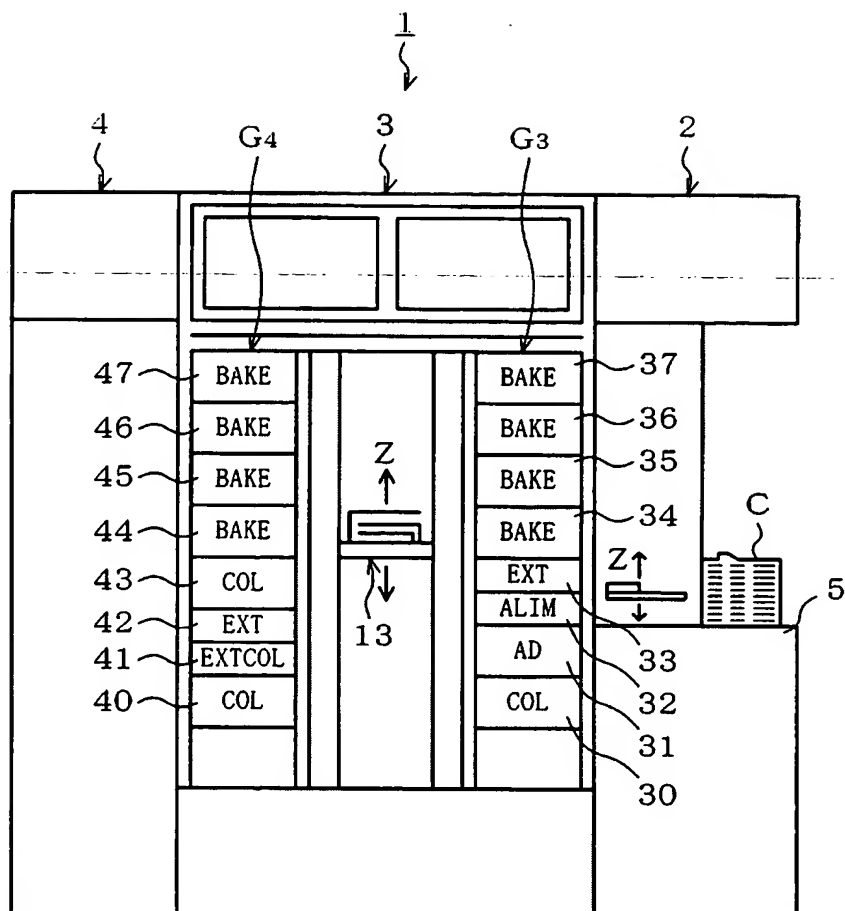
도면1



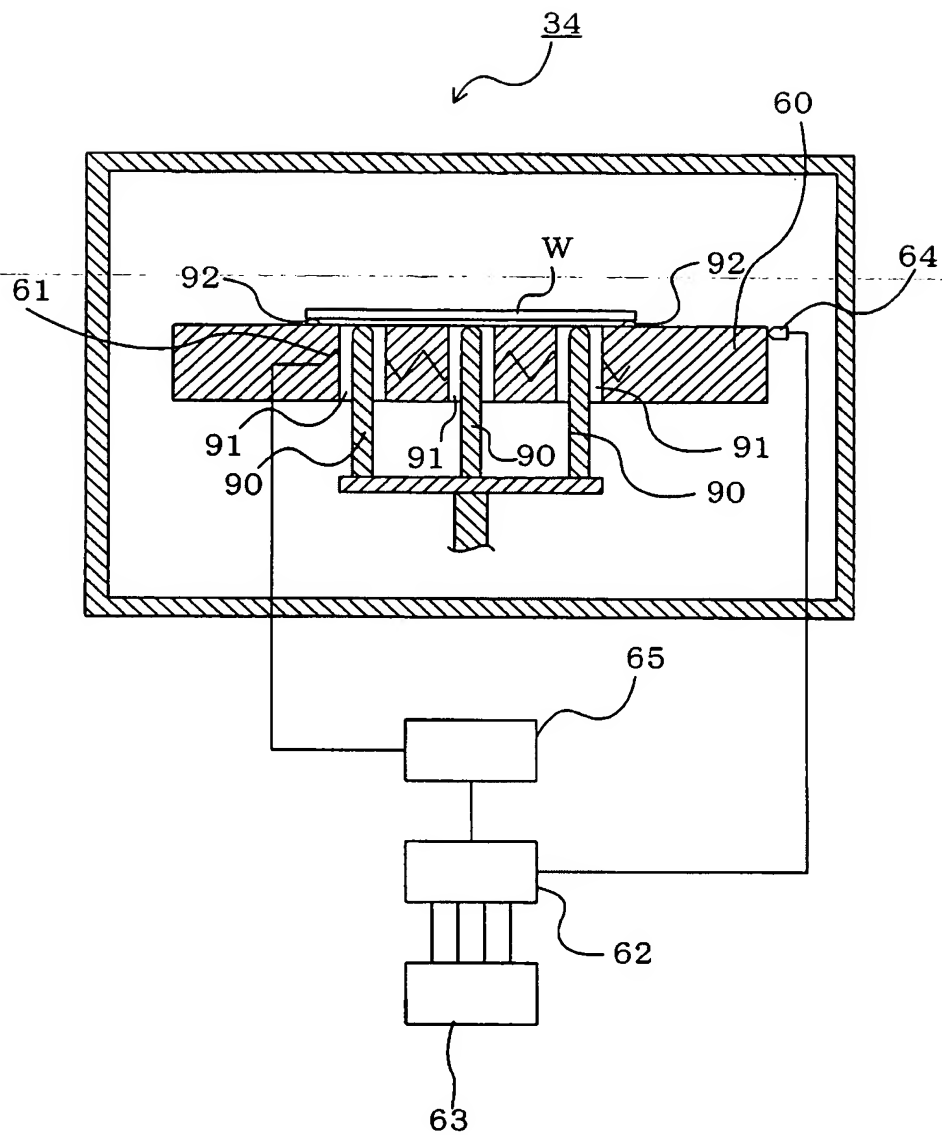
도면2



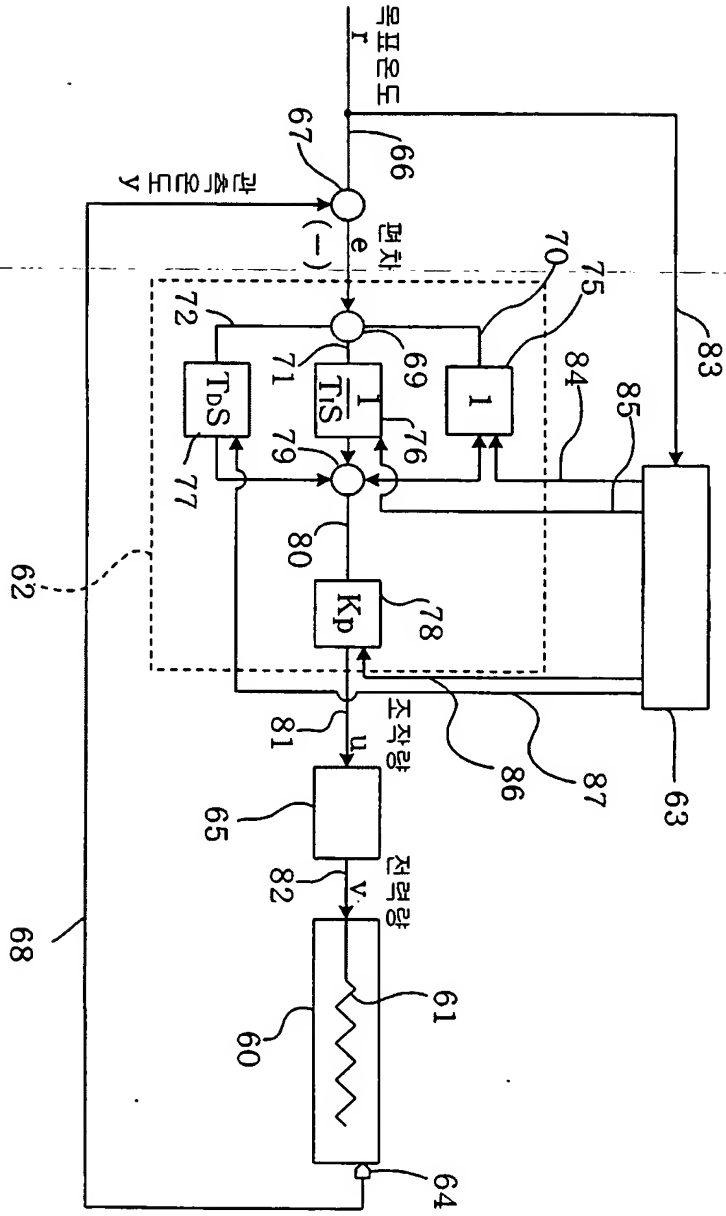
도면3



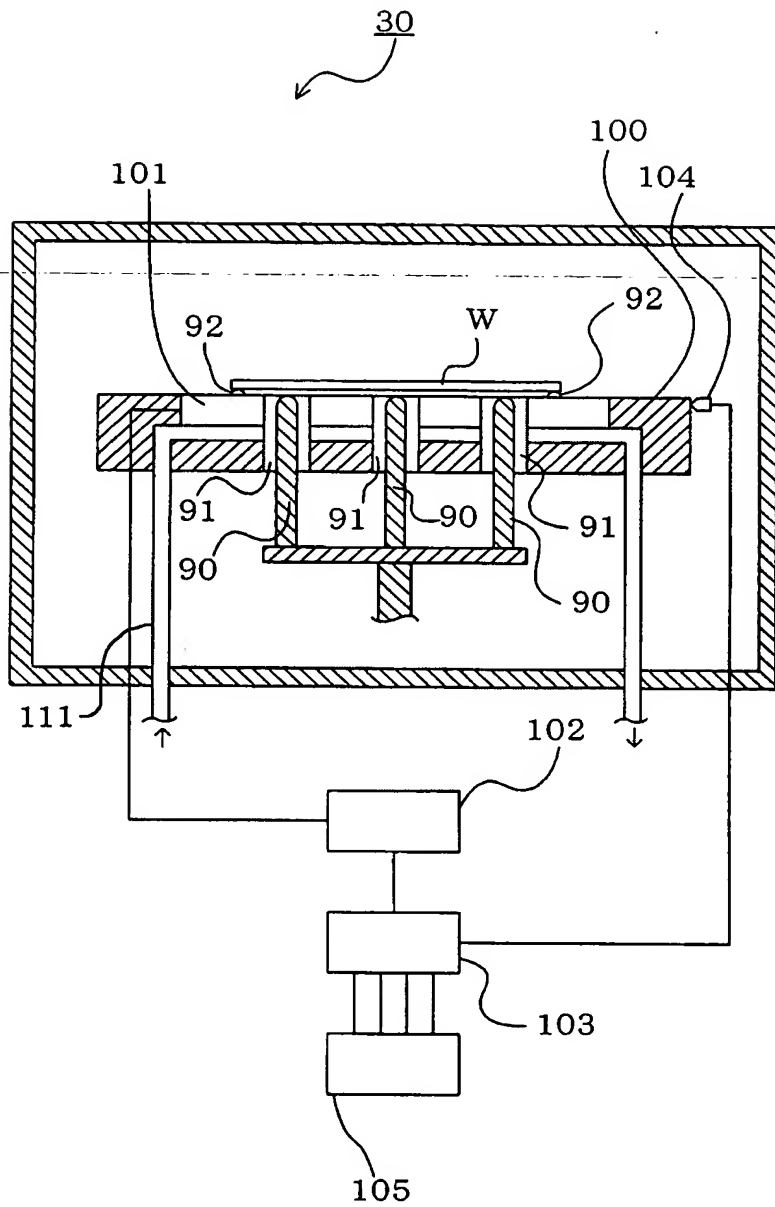
도면4



도면5

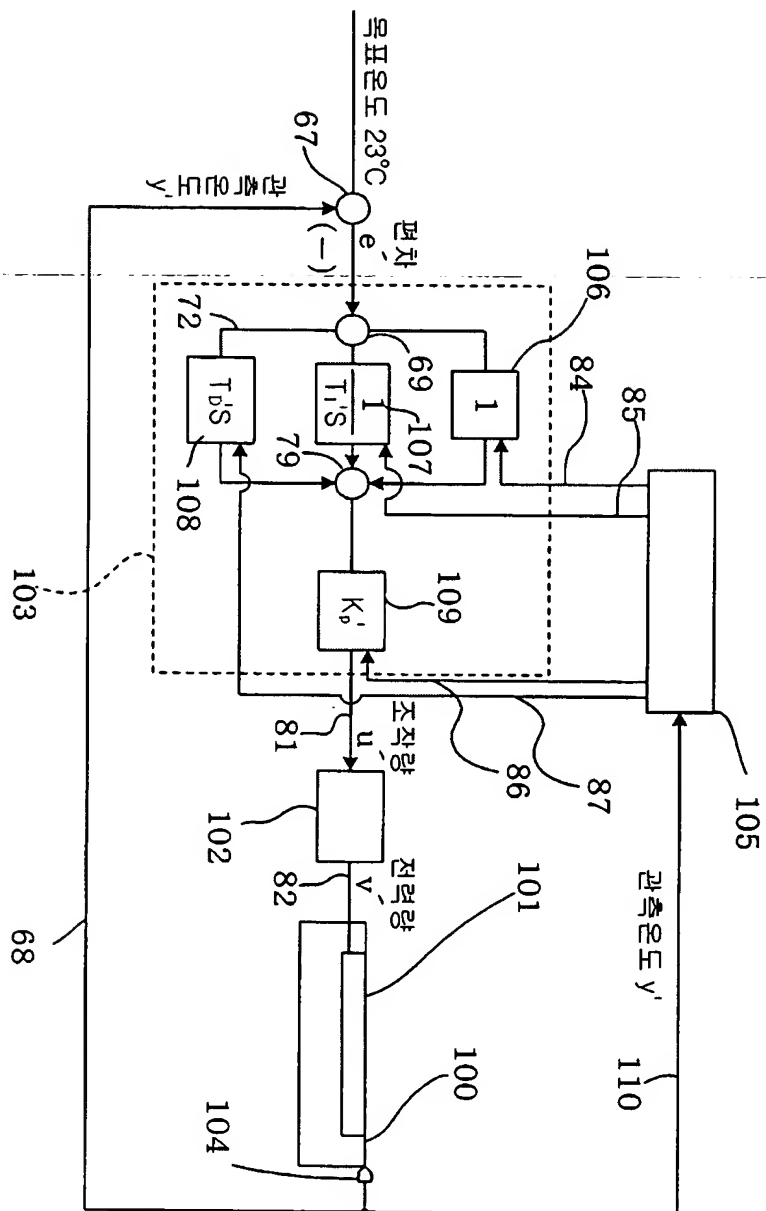


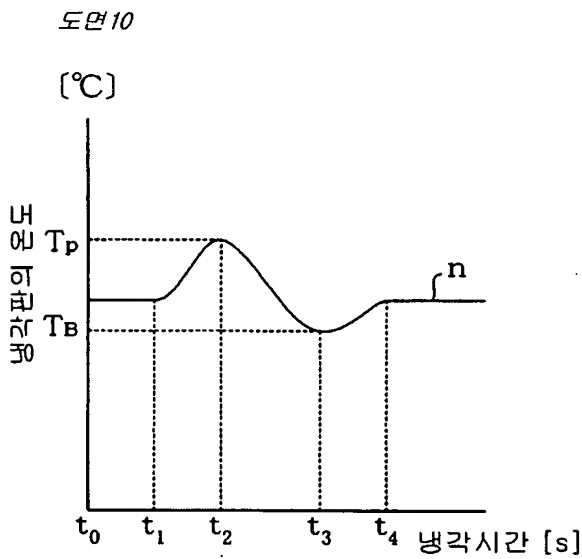
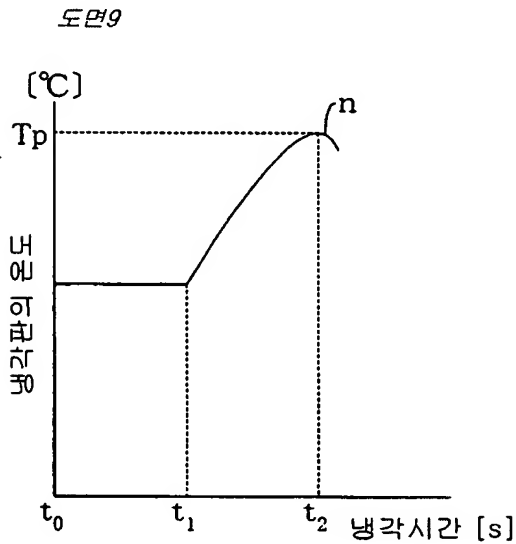
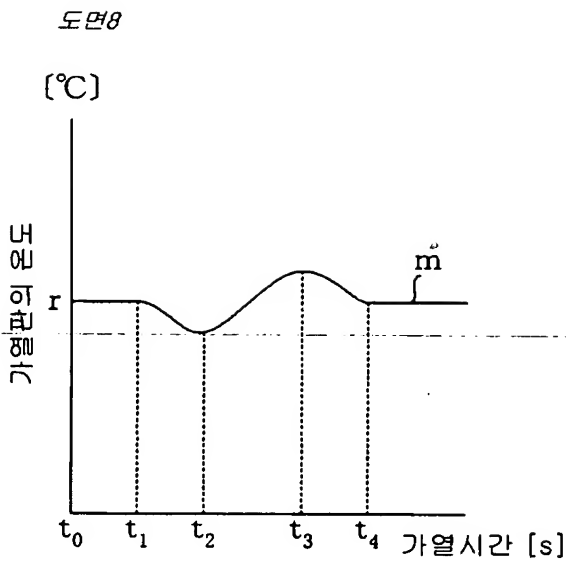
도면6





도면7



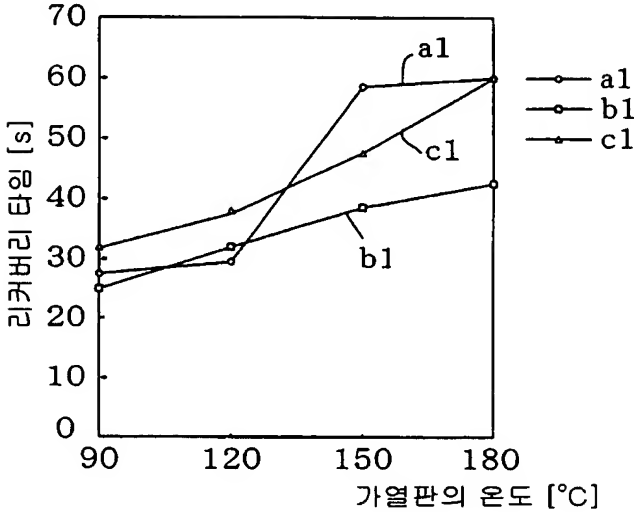


도면11

가열판의 온도(°C)	패턴1	패턴2	패턴3
90	28	25	32
120	30	33	38
150	57	39	46
180	61	44	61

(s)

도면12

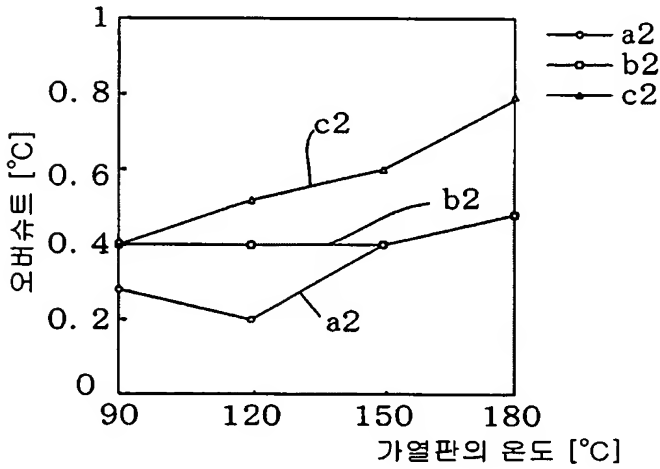


도면13

가열판의 온도(°C)	패턴1	패턴2	패턴3
90	0.3	0.4	0.4
120	0.2	0.4	0.5
150	0.4	0.4	0.6
180	0.5	0.5	0.8

(°C)

도면14

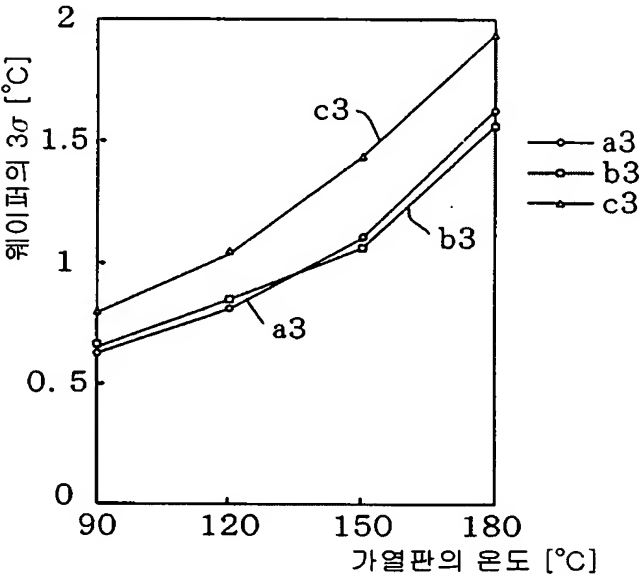


도면15

가열판의 온도(°C)	패턴1	패턴2	패턴3
90	0.66	0.70	0.84
120	0.85	0.92	1.06
150	1.19	1.12	1.38
180	1.68	1.63	1.90

(°C)

도면16

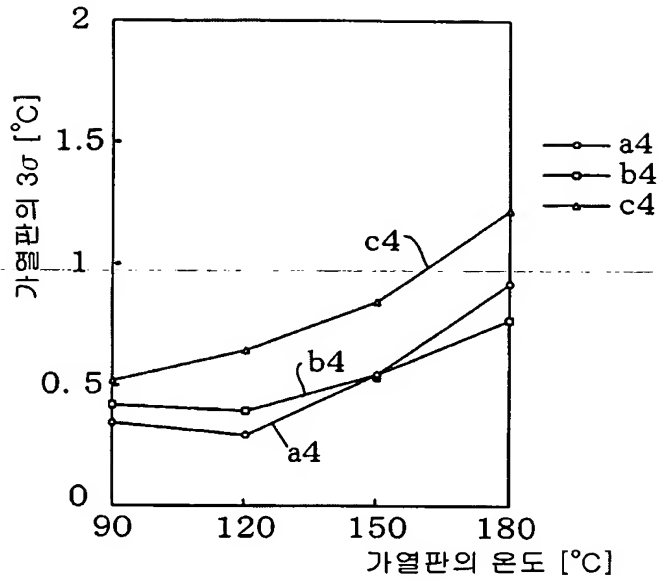


도면17

가열판의 온도(°C)	패턴1	패턴2	패턴3
90	0.35	0.43	0.52
120	0.26	0.39	0.66
150	0.56	0.54	0.89
180	0.95	0.77	1.28

(°C)

도면18



도면19

웨이퍼 초기온도 (°C)	리커버리 타임 (s)	
	냉각수 15°C	냉각수 25°C
90	24	25
120	26	27

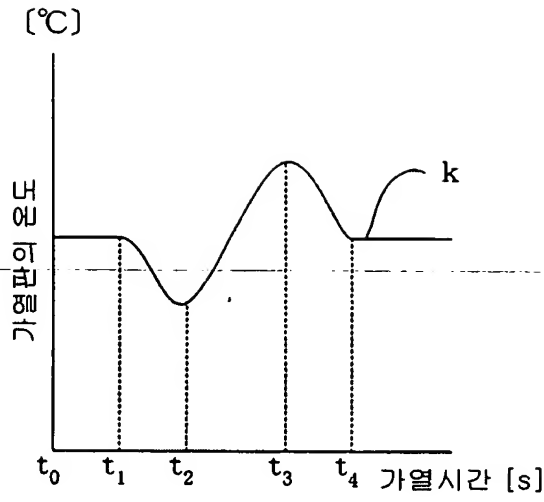
도면20

웨이퍼 초기온도 (°C)	리커버리 타임 (s)	
	냉각수 15°C	냉각수 25°C
90	25~35	27~36
120	27	28~29
150	28.5	29.5~31
200	33~34	36~38

도면21

웨이퍼 초기온도 (°C)	히터온도 (°C)	도달시간 (s)
200	26	9
250	27	9

도면22



도면23

